# 空间科学任务的全价值链管理和产出评估

吴 季

1 中国科学院国家空间科学中心 北京 100190
2 中国科学院大学 北京 100049



**摘要** 空间科学任务与其他航天任务的根本不同在于其产出。如果说应用类航天任务的产出是应用和服务，如通信、电视广播、导航、气象预报、海洋预报，资源勘察，以及土地规划和利用等，那么空间科学任务的产出则是对太空和宇宙的新发现和对其自然规律的新认识，以及由此形成的新的科学知识。因此，判断一个空间科学任务是否成功的核心要素是其是否有相应的科学产出。文章以科学产出最大化为牵引，从规划论证到产出评估的空间科学任务全生命周期的角度，对每一个任务阶段和节点，提炼出了相应的管理要求和措施，特别是对如何实施科学产出的评估提出了3条具体建议。

**关键词** 空间科学，全价值链管理，产出评估

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.02.010

空间科学卫星计划，也称为空间科学任务，是航天卫星发射任务中一类具有特殊性质的任务。首先，空间科学任务从提出到完成始终围绕科学目标，常常使用与其他卫星任务不同的运行轨道、不同的有效载荷，甚至对卫星平台也有特殊要求。此外，在运行中还会根据科学观测和实验的需求出现很多变化和新的要求。因此，为确保其科学产出的最大化，需要对其全生命周期的每一个阶段给予关注，确保其科学产出在每一个环节上不打折扣，不受损失。这种对全生命周期过程进行的管理模式可以称为全价值链管理。

一个空间科学任务的生命周期开始于对科学前沿发展的判断并进行战略规划，经过建议书的征集及遴选、预研和背景型号研制、立项审批、设计、实验验证、生产、发射、交付和运行，最后是总结和评估、延寿运行、再总结评估、再延寿运行、再总结和评估（图 1）。对生命周期中每个环节的管理都必须根据科学产出最大化的要求，制定合适的管理政策和采取必要的措施。本文将对每个环节的管理要求进行讨论和分析，提出必要、可行的管理措施。最后，作为全价值链管理的重要抓手，对如何开展产出评估进行讨

资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（XDA15015800）
修改稿收到时间：2019年2月15日

论和分析，并提出了 3 个重要的评估内容和相应的评估标准。

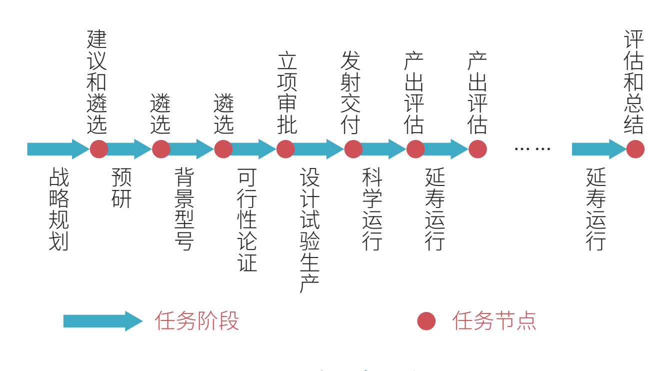



图 1　空间科学任务全生命周期

## 1 战略规划阶段

空间科学任务生命周期的起点是战略规划阶段。为了确保科学产出的最大化，需要通过战略规划确定最重要的科学前沿，并在科学界形成共识，再以此征集任务建议。战略规划一般由政府委托的专业性总体管理机构负责组织。

### 1.1 国外空间科学任务战略规划特点

美国的空间科学任务一般由美国国家航空与航天局（NASA）委托美国国家科学院（NAS）来组织战略规划，其具体责任部门是 NAS 的空间研究委员会（SSB）。NAS/SSB 每 10 年组织 1 次空间科学各分支学科领域的规划研究，其研究成果以“十年规划”（Decadal Survey）的形式出版[1]。“十年规划”对重大科学前沿进行讨论，并提出优先支持领域的建议。NASA 在实施科学任务时以“十年规划”为参考，分为旗舰类大任务、科学家领导的探索类任务、大学可以承担和执行的小型任务。

欧洲的空间科学任务由欧洲航天局（ESA）委托其空间科学咨询委员会（SSAC）组织论证，并出版中长期的发展规划。在 20 世纪 90 年代出版的《地平线 2000》（*Horizon 2000*）中，对欧洲 1990—2010 年的空间科学任务进行了规划。该规划中除了对各分支学科予以相对平衡的任务安排之外，最主要的就是考虑了重要学科前沿和欧洲研究力量的优势。2000 年以后，ESA 新一轮的空间科学规划研究的产出形式是出版了《“宇宙愿景”计划》（*Cosmic Vision*），将科学任务的研究主题规划到了 2025 年[2]。ESA 的科学任务分为重大任务（L）、重要任务（M）和小型任务（S）3 个级别，以及通过国际合作的搭载任务。

美国和欧洲这两种规划形式的共同点有 2 个：① 广泛发动科学界开展讨论，参与度高，科学发展态势的判断思路来源于自下而上的建议和讨论，并达成共识。② 瞄准空间科学各分支领域的重大科学前沿，如空间天文领域瞄准宇宙起源、黑洞、暗物质与暗能量、引力波、系外行星；空间物理（空间等离子体物理）领域瞄准太阳爆发、行星际 CME 传播、地球空间动态特征等空间天气核心要素；空间地球科学领域瞄准全球变化，等。

但是美国与欧洲在战略规划阶段的管理也有所不同，各有特点。比如美国的“十年规划”周期比较短，较难制定长远的规划。但其优势在于调整容易，比较适合安排短、平、快的项目，瞄准学科发展的热点尽快布局。为了避免 10 年内出现变化无法调整，近年来 NASA 又在 10 年中增加了中期评估，用来做出必要的调整。ESA 战略规划的特点是周期长，一般安排 15 年甚至更长，同时需要平衡各分支学科和成员国的意见。因此也带来了一些不可避免的弱点，比如紧跟学科变化和发展的新任务很难进入规划，相对投入较少的成员国的意见往往被忽视等。实际情况是，美国的空间科学任务往往显得贴近科学前沿，而欧洲的空间科学任务往往更重视重大基础和轻易不能突破的重大科学问题。由于重视了学科平衡以及多数科学家（往往来自成员国中投资较大的国家）的意见，ESA 科学任务产出的质量往往平平，但是其产出的数量往往较高。

### 1.2 国内空间科学任务战略规划特点

中国科学院自2006年起，开始牵头开展我国的空间科学规划研究，先后出版了《中国至2050年空间科技发展路线图》（英文版）[3]《2016—2030空间科学规划研究报告》[4]等。对利用空间飞行器可以开展的科学前沿进行了深入分析和探讨，分学科领域制定了23项科学计划。中国科学院实施的“空间科学”战略性先导科技专项的空间科学任务，就是从规划当中的部分项目中遴选出来的。

### 1.3 空间科学任务战略规划的经验及规律

从国外航天发达国家和我国在空间科学规划过程中的经验，可以得出3条重要的规律和结论。① 科学规划必须瞄准重大科学前沿，力求引导科学家在后续提出的科学任务中，将科学目标凝聚在有重大产出的科学前沿上，确保未来实施的科学任务产出的质量高、影响力大。② 在规划中需要达成广泛共识，这样就可以确保未来提出的科学任务有更多科学家参与，以及更多人参与到任务科学数据分析中来，从而带来更大量的科学产出。③ 科学规划要有一定的灵活性，可以根据科学前沿的变化进行必要调整，不至于错过带有一定机会性的、突破科学前沿的重大机遇。这3点是空间科学任务生命周期战略规划阶段中的管理要点，以最大限度地确保科学产出的最大化。

## 2 任务建议书的征集和遴选

### 2.1 任务建议书的征集

空间科学任务生命周期的第一个节点是任务建议书的征集和遴选。这个节点对任务的全价值链管理至关重要。在战略规划的基础上，专业化的管理机构发布任务申请指南，或者直接在战略规划的基础上进行任务建议书的征集。任务建议书的征集一般采取“自下而上”的方式，这种方式是空间科学任务管理的核心要素之一。如果由管理机关“自上而下”安排任务，往往会出现2个弊病：① 确定任务的领导并不是最终的数据用户；② 当最终的数据用户，也就是科学研究群体仅仅是被动的参与任务时，产出的质量和数量都会大打折扣。因此，为了确保科学产出的最大化，任务的建议书应该充分发挥研究群体的积极性，采取“自下而上”的征集方式，而不是“自上而下”的命令方式。

无论是在航天发达国家或地区（如美国、欧洲），还是在中国，征集到的建议书数量总是远远大于能够资助的任务数量。这就为从中遴选出优秀的、具有重大科学突破影响力和带动性的任务奠定了基础。如果最终提交的建议书中所需经费少于国家拟投入空间科学的预算，无法再次遴选，政府不得不照单全收，其结果将会大大降低空间科学预期的产出，影响公众对空间科学的支持力度，使其无法可持续发展。

### 2.2 任务建议书的遴选

在发布了任务申请指南之后，专业化管理机构需要对提交的建议书进行遴选。这将是整个生命周期中最重要的，具有指挥棒作用的管理环节。在遴选之前，遴选标准应公开发布，以便让所有参加遴选的建议团队了解其导向。参照国际上通常的惯例，我国在遴选空间科学任务时采用2条基本的标准：① 注重其科学目标的重大性，看是否针对重大科学前沿问题，一旦取得突破，能否从根本上改变人类对自然规律的认识，带来新的知识。② 注重其科学目标的带动性，是否能够有尽可能多的人参与数据分析，长期使用这个科学观测或试验平台，产出数量较大的科学成果[5]。这2个标准只要满足其一即可，如果两者都满足将是非常值得优选的重要科学任务，在NASA可能会成为旗舰类任务，而在ESA大部分L级别的任务都能同时满足这2个条件。

在以上2个遴选标准之外，专业性的管理机构往往还需要考虑空间科学领域各个分支学科的平衡发展问题。即当某个分支学科需要特别给予支持时，可以

考虑适当降低以上2条标准的要求，进行综合考虑。

总之，在这个节点，空间科学任务的专业管理机构在管理上需要特别关注的2点：① 确保任务建议书是“自下而上”提出的；② 按照上述2个标准遴选，择优进入下一个资助阶段。需要避免的是不经过遴选，由领导决定任务的优先权，这样做将会抵消遴选的权威性。命令式的遴选虽然加强了领导的权威性，但其效果会使得科学任务的建议团队跳过管理机构直接找领导，不仅领导无法面对这种形式的“公关”干扰，还会导致遴选结果的公平性、公正性受到很大影响。因此，建立公平、公正和公开的遴选程序，事先公布遴选标准是必要的管理程序。

## 3 预研及背景型号阶段

通过遴选进入预研、背景型号阶段的空间科学任务，最主要的研究目标就是凝练科学目标，进行科学有效载荷的配置并对载荷的关键技术进行攻关。在预研阶段，研究工作的重点更偏重于观测、探测、实验方案，以及科学目标的凝练，而在背景型号阶段则更偏重于关键技术。

在预研及背景型号阶段中，管理工作的要点主要包括：跟踪和检查科学目标的凝练，使其更加向上文提及的2个遴选标准靠拢或提升；协助和鼓励国际合作以及组织国际化的研讨与论证，使方案成为国际唯一，使载荷的技术指标达到国际最优。

## 4 任务立项审批

经过1次或数次（预研、背景型号等）遴选出的科学任务，应该说都具备了瞄准重大基础前沿科学问题或有相当带动性的科学目标。但是其技术可行性和经济可行性究竟如何，还需再进行更深入的论证并给出明确的结论。为避免进入工程研制阶段科学目标出现变化引起工程设计的重大更改，在立项审批阶段需要由管理机构组织对科学目标进行进一步的论证和凝练，并对方案和有效载荷的技术可行性进行进一步的深化论证。然后，还需要对实现该任务的工程总体方案进行技术和经济可行性的论证，这2个过程虽然和其他卫星任务的要求一致，但是需要特别关注科学目标的可实现性。在论证中，科学任务的首席科学家尤其要发挥其关键和决定性的作用。

任务若通过了技术和经济可行性论证，将进入立项前的最后程序。对工程总指挥、工程总师和首席科学家的任命是必须完成的首要任务。虽然首席科学家在整个研制任务中拥有一票否决权，但其在研制阶段中的职责主要是监督，而不是领导。这一点必须予以明确，必要时可在任命前对首席科学家进行培训，以保证其能够充分、合理地行使权力和发挥职能。

## 5 工程设计、试验与生产阶段

空间科学任务一旦进入工程设计、试验与生产阶段，其主要目标就是按照科学目标提出的要求，设计、研制和生产出能够实现其目标的产品，并在发射后确保成功。除了一般航天任务需要注意的各种管理要素之外，对于空间科学任务来说，该阶段中科学有效载荷的设计和研制是关键。但在大多情况下，科学载荷的设计师往往缺乏航天工程的经验，因此需要组织科学载荷设计团队与卫星平台的工程设计团队密切沟通，反复迭代，找到最佳实现方案。

此外，进入该阶段的科学任务，在工程的每一个重要环节都要将首席科学家的参与放在重要位置上。只有得到了首席科学家认可的设计，才能最大程度地确保其进入下一阶段工作的输入是正确的。因此，进入该阶段的空间科学任务需要保证首席科学家始终处在监督、审核、认可和见证的岗位上。虽然首席科学家拥有叫停和否决任务的权利，但是一个组织管理良好的空间科学卫星任务基本上不会发生这种情况，因为首席科学家在研制的各阶段都发挥了其应有的作用。

## 6 发射和交付

发射是整个科学任务的关键节点。在发射前，任何科学、技术、质量问题都还有解决的可能；而一旦发射上天，就不会再有机会进行设计的更改。因此在发射前，需要由首席科学家对风险进行判断，管理机构与首席科学家团队一同认真分析，确定最低发射条件。

确定最低发射条件，是在充分考虑研制成本、人员成本及各方面成本的情况下，对发射过程中一旦出现异常问题的紧急预案，比如：何种情况是可以接受的，仍然可以继续发射程序，而不影响科学目标的实现；何种情况必须终止发射，如某台载荷或某个指标出现问题等。从另一个角度讲，确定最低发射条件的过程，也是在一旦出现异常问题之后，如何确保科学产出最大化的风险管理过程。

科学卫星入轨后，需要进行 2 个阶段的在轨测试才能交付科学用户运行。第一阶段是卫星平台的内部测试，确定能源、热控、姿态、数管和测控等各个服务系统都能正常工作。第二阶段是由科学团队对有效载荷进行测试，检查载荷的工程参数是否正常，设定各观测、试验模式中的参数，验证载荷各项科学技术指标是否达到要求等。

任务的交付通常以签署交付文件的形式完成，需要卫星系统、地面公共支撑系统和科学应用系统的共同参与。

## 7 科学运行阶段

科学数据是空间科学任务实现科学目标的载体。因此，在科学运行阶段，如何使科学数据发挥最大效用，是使科学产出最大化的关键。这需要通过制定合理的数据政策予以保证。通常有 2 种科学数据政策：① 确保首席科学家领导的团队具有使用数据的优先权和一定时间段内的专有权；② 向全体科学界开放，任何感兴趣的研究者都可以获得科学数据。这 2 种科学数据政策对科学产出激励的侧重方向也不相同。

*第一种数据政策注重对任务团队的激励。*数据的优先使用权和专有权是对任务团队从任务建议到运行数年中作出贡献的奖励，也是对他们提出任务科学目标的回报。一般来说，只有提出科学目标的研究人员，其使用数据积极性最高、目的性最强，也最有可能做出重大科学发现。相比之下，当数据质量不是太好，使用起来不太方便时，团队以外的人使用数据的主动性和积极性会受到影响，数据的利用率和科学产出会大幅降低。因此，设置一定时间段的数据专有权，不仅有利于保护和发挥任务团队的积极性，使他们有时间提升数据质量和使用便利性，并且对于任务的科学产出最大化也有好处。

*第二种全面开放的数据政策，注重让更多的人能够获得数据，以促进科学产出。*这类政策比较适用于数据简单明了、稳定好用的观测类任务所产出的数据。特别是对那些目标不断变化，可以源源不断产出科学成果甚至是应用成果的任务，如对地观测类、对太阳观测类的任务。由于观测目标不断变化，科学卫星每天都会产生大量的新数据，单凭任务科学团队无法完全消化。如果让数据全面开放，就可以最大程度上发挥数据的效益，产生大量科学成果。

一般情况下，科学任务的数据政策都是针对具体任务而量身制定的。通常情况下先实行第一种数据政策一段时间，如半年到 1 年，再视具体情况决定是否实行第二种全面开放获取数据的政策。数据封闭的专有期到底多长，要根据科学产出最大化的要求，视具体任务和数据的具体性质来确定。

## 8 产出评估

产出评估是全价值链管理的最后一个环节，是科学产出最大化的抓手，也是最关键的环节。因为产出评估体现了政府财政在空间科学领域投入的反馈。只

有得到反馈，整个空间科学任务的价值链才算完整地连接起来。只有出现正面反馈，也就是产出的效果和影响被公众接受，认为政府财政的投入具有正面的社会效应，空间科学这项事业才能得到可持续发展。

当空间科学任务运行至设计寿命截止时间时，通常会遇到 2 种情况：卫星工作状态仍然良好，卫星任务没有达到预期。

## 8.1 卫星工作状态仍然良好

这是大多数任务所遇到的情况。此时需要对产出进行一次评估。如果科学目标如期完成甚至超出预期，科学用户方往往会提出延长运行时间的请求，即延寿申请。延长运行时间将意味着需要增加原来预算的运行经费，因此延寿申请时需要提出延长运行时间和增加的经费概算的请求，更重要的是需要在延寿申请中对已经取得的科学产出和其他方面的产出进行评估。产出评估一般可分为 3 个方面。

（1）*科学产出*。这也是最重要的方面。发表于具有独立评审程序的学术期刊上的论文是最主要的科学产出形式。论文质量可根据其发表期刊的影响力，以及论文引用率和引用语来评价，整个科学界对其产出成果的公开评价也值得关注。论文数量则是统计该任务在科学运行期间利用获得的数据发表论文的数量。一个高产出的空间科学任务往往每年可发表上百篇论文。例如，美国的 Swift（伽马射线爆发）天文卫星，在运行稳定后的数年中每年产出论文超过 200 篇；又如哈勃空间望远镜（HST），自1990 年发射升空以来，已有超过 1 万篇相关论文发表，取得了大量的科学发现。我国的空间科学事业刚刚起步，可以考虑在任务进入稳定的科学运行期之后，将一个成功任务的论文年产量制定在 100 篇左右比较合适。这里需要注意的是，以论文为评价标准并不是急功近利的表现，因为这里评价的是任务产出，而不是个别科学家的个人产出。此时的产出评价实际上是在对参与任务的整个科学团队进行考量，甚至是对承担空间科学任务全面管理工作的专业化管理机构在整个任务生命周期中各个阶段和节点的工作效果进行评价。

（2）*高新技术的转移和转化成果*。空间科学任务往往会采用大量新技术。因此，一个国家在空间科学领域投入的目的除发展基础研究、突破科学前沿以外，还包括激励高新技术的发展。然而，对空间科学任务采用的高新技术进行转移转化，往往不是科学团队关注的主要方向。因此，专业化的管理机构有义务将此项工作作为自己的重要工作内容予以重视，并在每一项空间科学任务从进入研制阶段开始，就应对其产生的专利和高新技术的潜在应用给予关注。当任务结束时，管理机构应对高新技术的转移转化进行评估和总结。需要注意的是，不能为此而忽略科学产出，只去评估技术推动。如果只有技术推动，就不能称为空间科学任务。不能打着空间科学的旗号，即基础科学研究的旗号，只考虑高新技术的发展，误导或错误使用国家在基础科学领域的投入。

（3）*空间科学任务在社会公众中产生的影响*。国家在空间科学领域投入的经费主要来源于国家财政经费，也即纳税人的钱。因此，必须将空间科学任务所取得的成果反馈至社会和公众。在评估科学发现和突破及可能的技术推动产出以外，还要对一般科学知识的传播和对公众的激励效果进行评估。这就需要空间科学任务从立项开始，始终通过公共媒体让公众知晓其科学目标、研制进度等，并通过这些信息将普及性质的科学知识传播给公众。关于宇宙、空间方面的基础科学知识，往往是社会公众特别是青少年非常关注和感兴趣的热点。在这些领域的任何科学和技术进步都是激励社会公众和青少年学习科学、技术、工程和数学的非常有效的手段。因此，充分利用空间科学任务非保密和公开的特性，加强科学普及和知识传播，这是非常必要的。追求良好的社会效益也是空间科学任务管理机构，以及承担任务的单位和团队所必须承担的公众义务。在任务执行中和任务结束时，对社会

效益和公众影响方面的工作进行评估，也是全价值链管理的重要方面。

如果经过上述评估，判断任务有继续提供产出的可能，就应该考虑批准其延寿运行。在延寿运行期内，可进一步促进其扩大产出。在延寿期结束时，再次进行延寿期的产出的评估，直至任务完全结束，再对工程进行全面总结。

### 8.2 卫星任务未达到预期

如果在评估时遇到另一种情况，也即任务远远没有达到预期，不值得延寿运行，甚至中途失败了，就应该果断中止其运行。对于有一些科学产出，但是产出小于预期的任务，就应该评估其产出和继续运行的经费投入比，视情况决定是否需要中止运行。

## 9 结语

对空间科学任务实施全价值链的管理，是实现科学产出最大化的根本保证，是空间科学事业可持续发展的有力保障。空间科学任务经费的主要来源为政府在基础科学研究领域的投入，而这些投入的来源则是向政府纳税的自然人和企业及单位法人，也即来自公众。公众对空间科学任务之所以支持，看重的就是其是否对社会发展有回报。因此，从长远来看，要想使空间科学这项事业具有可持续性，着力抓好空间科学任务的产出至关重要。

要使空间科学任务的产出最大化，我们需要做到：在战略规划阶段，注重准确判断和识别重大科学前沿；在任务建议和遴选阶段，确保“自下而上”的任务建议征集原则和公开、公平和公正的遴选程序，遴选标准需要确保科学目标的重大性和带动性；在预研和背景型号阶段，优化方案和突破载荷关键技术，并组织国际同行参与其中；在立项论证阶段，确保科学任务通过技术和经济可行性的论证，并为首席科学家确定应有的监督职责；在设计、试验和生产阶段，提高有效载荷和科学目标实现性的设计权重，使整个卫星平台和工程都紧紧围绕科学目标和有效载荷，同时确保首席科学家的参与及其监督权得到落实，而不是名不符其实的摆设；在科学运行阶段，需要考虑 2 种特点不一样的数据政策，根据任务的特点予以平衡。

空间科学任务在我国刚刚起步，认真学习先进航天国家在实施空间科学任务过程中的经验和教训，总结我们自己在实施空间科学系列卫星过程中的经验和教训，认真思考如何使科学产出最大化，思考什么是影响科学产出最大化的关键核心因素，有助于进一步提升我国在空间科学任务上的管理能力，保证未来的空间科学任务能够得到社会公众更大的支持，实现健康可持续发展。

## 参考文献


1 The National Academies of Sciences Engineering Medicine. Decadal Surveys. [2019-02-01]. http://sites.nationalacademies.org/ssb/ssb_052297.

2 European Space Agency. Cosmic Vision - Space Science for Europe 2015-2025, ESA-BR 247. [2019-02-15]. http://sci.esa.int/cosmic-vision/.

3 Guo H D, Wu J. Space Science & Technology in China: A Roadmap to 2050. Beijing: Science Press, 2009.

4 吴季. 2016—2030空间科学规划研究报告. 北京: 科学出版社, 2016.

5 Wu J, Bonnet R. Maximize the impacts of space science. Nature, 2017, 551: 435-436.

# Full Value Chain Management and Science Outputs Evaluation of Space Science Missions

WU Ji

（1 National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China）

**Abstract** The fundamental difference between a space science mission and other space missions is their output. For space missions that aimed to provide services and space applications, their outputs are clearly defined, such as telecommunication, navigation, TV broadcasting, weather forecast, ocean status monitoring and forecasts, land use and planning, etc. For space science mission, the outputs are expected to be discoveries and verification of new nature laws that may produce new scientific knowledge for the human beings. For this reason, the evaluation of the success of a space science mission is laid on its science outputs. This paper discusses the management considerations to ensure and maximize the science outputs of a space science mission covering the whole life cycle of a mission from strategic planning to science output evaluation. In particular, three main points are proposed on how to evaluate the science outputs of a space science mission.

**Keywords** space science, full value chain management, science outputs evaluation





**吴 季** 中国科学院国家空间科学中心研究员。全国政协委员，空间科学与探测技术领域专家；任中国空间科学学会理事长，国际宇航科学院院士，IEEE Fellow；曾任我国第一个空间科学计划——地球空间双星探测计划应用系统总设计师，嫦娥1号、3号探测器有效载荷总指挥，东半球空间环境监测子午链工程建设总经理，中国科学院“空间科学（一期）”战略性先导科技专项负责人。获国际宇航科学院杰出团队奖，欧洲空间天气与空间气候奖，国家科技进步奖一等奖1项，省部级科技进步奖3项。2016年被*Nature*评为“中国十大科学之星”，2018年获中国航天基金会特别奖。在空间科学与探测领域以及空间政策领域发表了80余篇论文，并拥有10余项发明专利。E-mail: wuji@nssc.ac.cn

**WU Ji** Professor of National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences (CAS), Member of Chinese People’s Political Consultative Conference (CPPCC), Specialist in Space Science and Exploration, President of Chinese Society of Space Research, IEEE Fellow, Full Member of IAA. He was the chief designer of Double Star Program Application System, project manager of scientific payload subsystem of CE-1, and CE-3, project manager of Meridian Program, project manager of CAS Strategic Priority Program on Space Science (2011-2017). He is awarded the Laurels for Team Achievement Award of IAA in 2010, Marcelo Nicolas Space Weather Award in 2017, Special Award of Chinese Space Foundation in 2018, and several S&T Progress Awards in both National and Provincial levels. He has more than 80 peer-reviewed publications in space science & technology and also related policies, and more than 10 patents. E-mail: wuji@nssc.ac.cn

■责任编辑：张帆

## 参考文献（双语版）


1 The National Academies of Sciences Engineering Medicine. Decadal Surveys. [2019-02-01]. http://sites.nationalacademies.org/ssb/ssb_052297.

2 European Space Agency. Cosmic Vision—Space Science for Europe 2015-2025, ESA-BR 247. [2019-02-15]. http://sci.esa.int/cosmic-vision/.

3 Guo H D, Wu J. Space Science & Technology in China: A Roadmap to 2050. Beijing: Science Press, 2009.

4 吴季. 2016—2030年空间科学规划研究报告. 北京: 科学出版社, 2016.

Wu J. Study Report on the Future Space Science Program in China (2016—2030). Beijing: Science Press, 2016.

5 Wu J, Bonnet R. Maximize the impacts of space science. Nature, 2017, 551(7681): 435-436.